苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤理化性质相互关系*

迟春明[1] 王志春[2**]

([1]塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 834400; [2]中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

摘 要 对羊草、星星草、虎尾草和碱蓬4中植被类型及碱斑裸地下苏打盐渍土0~30 cm剖面的化学和物理性质进行了测定,分析了苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤理化性质的相互关系。结果表明:按羊草、星星草、虎尾草、碱蓬和碱斑的排列顺序,苏打盐渍土理化性质不断恶化;0~10 cm剖面的土壤饱和浸提液电导率(EC_e),碱化度(ESP)、pH和土壤容重是影响群落分布的决定性因素;植被群落分布情况可以定性反映土壤的盐渍化程度和物理性质;植被生长可以影响盐渍土的理化性质;植被生长改变了土壤剖面EC_e和ESP的分布规律,在有植被群落分布的土壤上,EC_e和ESP均随剖面深度的增加而升高,而在无植被生长的碱斑地,二者均随剖面深度的增加而降低;植物生长可在一定程度上改善土壤的结构系数和饱和导水率。

关键词 电导率;碱化度;羊草;星星草;虎尾草;碱蓬

中图分类号 S156.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2013)9-2245-05

Interrelationships between grassland plant community distribution and soil physical and chemical properties in soda-saline soil regions of Songnen Plain, Northeast China.

CHI Chun-ming[1], WANG Zhi-chun[2**] ([1]*College of Plant Science, Tarim University, Alar* 843300, *Xingjiang, China*; [2]*Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun* 130102, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(9):2245-2249.

Abstract: In this paper, the physical and chemical properties of 0-30 soil layer under *Leymus chinensis*, *Puccinellia tenuiflora*, *Chloris virgata*, *Suaeda corniculata*, and alkali patch in the soda-saline soil regions of Songnen Plain were measured, with the interrelationships between these properties and grassland plant community distribution analyzed. The results showed that the soil physical and chemical properties were deteriorating in the order of *L. chinensis*, *P. tenuiflora*, *C. virgata*; *S. corniculata*, and alkali patch. The electrical conductivity of saturated paste (EC_e), exchangeable sodium percentage (ESP), pH, and bulk density of 0-10 cm soil layer were the decisive factors affecting the grassland plant community distribution, while the distribution of the grassland plant community could qualitatively reflect the degree of soil salinity and soil physical properties. The plant growth affected the soil chemical and physical properties. Plant growth altered the distribution patterns of soil EC_e and ESP. In the soils with vegetations, EC_e and ESP increased with soil depth; in the soils with alkali patch, both EC_e and ESP decreased with soil depth. Plant growth could improve the soil structural stability and saturated hydraulic conductivity to some extent.

Key words: electrical conductivity; exchangeable sodium percentage; *Leymus chinensis*; *Puccinellia tenuiflora*; *Chloris virgata*; *Suaeda corniculata*.

* 国家自然科学基金项目(41161037)和公益性行业(农业)科研专项(200903001-06)资助。

** 通讯作者 E-mail: wangzhichun@neigac.ac.cn

收稿日期: 2013-03-17 接受日期: 2013-05-28

盐渍土是一系列受土体中盐碱成分作用的、包括各种盐土和碱土以及其他不同程度盐化和碱化的各种类型土壤的统称,也称盐碱土(王遵亲等,1993)。松嫩平原是中国盐渍土集中分布区域之一(王遵亲等,1993;俞仁培和陈德明,1999),其盐渍土总面积约为 3.42×10^6 hm^2,约占全区总面积的19.4%(刘兴土等,2002)。由于土体中富含$NaHCO_3$和Na_2CO_3(李彬等,2007),该区盐渍土被称作苏打盐渍土(王遵亲等,1993;俞仁培和陈德明,1999)。在该区域,羊草群落、星星草群落、虎尾草群落、碱蓬群落是主要的草原植被群落类型(李建东和郑慧莹,1997),同时还存在大量的无植被生长的碱斑地。由于土壤和植物之间是一种相互作用的关系,因此,阐明苏打盐渍土草原植被群落分布与土壤理化性质的相互关系,对于揭示该区草原生态系统的退化演替与恢复规律、实现苏打盐渍土的可持续开发利用等相关研究具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试土样

供试土样取自大安碱地生态试验站(45°35′58″ N—45°36′28″ N,123°50′27″ E—123° 51′31″ E),取样时间为2008年6—7月。试验站内主要植被类型为羊草、星星草、虎尾草和碱蓬(邓伟等,2006),与松嫩平原主要植被类型相同。因此选择这4种植被群落样地,以无植被的碱斑裸地为对照,挖取土壤剖面。剖面深度为30 cm,按10 cm间隔取样。

1.2 土壤化学性质测定

土壤盐度采用饱和浸提液电导率表示。参照美国盐土实验室的方法制备土水比1∶5浸提液(USDA,1954),采用DDS-307型电导率仪(上海精密仪器厂)测定其电导率。应用松嫩平原盐渍土饱和浸提液电导率(EC_e)与土水比1∶5浸提液电导率($EC_{1:5}$)的换算关系(迟春明和王志春,2009),将测得的$EC_{1:5}$转换成EC_e,其换算方程为:

$$EC_e \approx 10EC_{1:5} \quad (1)$$

式中,EC_e为土壤饱和浸提液电导率(dS·m^{-1});$EC_{1:5}$为土水比1∶5浸提液电导率(dS·m^{-1})。

土壤碱度选用碱化度(ESP)和酸碱度进行判断。土壤ESP的计算公式为:

$$ESP = 100\times E_{Na}/CEC \quad (2)$$

式中,ESP为土壤碱化度(%);E_{Na}为土壤交换性Na^+含量(cmol·kg^{-1});CEC为土壤阳离子交换量(cmol·kg^{-1})。交换性Na^+采用乙酸铵-氢氧化铵-火焰光度法测定,CEC采用氯化铵-乙酸铵法(刘光崧,1996)测定。

土壤酸碱度采用土水比1∶5浸提液pH表示,pH采用PHS-3C型pH计(上海雷磁科学仪器厂)测定。

1.3 土壤物理性质测定

1.3.1 基本物理性质测定 土壤容重采用环刀法测定,土壤结构系数按《土壤理化分析与剖面描述》一书中土壤微团聚体的测定方法进行计算(刘光崧,1996)。

1.3.2 饱和导水率测定 以原状土为试样,在土壤剖面按10 cm间隔取样,每层6次重复,采用南京土壤仪器厂生产的TST-55A型渗透率仪,按定水头法测定饱和导水率。饱和导水率采用达西定律计算,即:

$$K_s = \frac{Q\times L}{A\times t\times H} \quad (3)$$

式中,K_s为饱和导水率(cm·s^{-1}),Q为渗透量(ml),A为渗透横截面积(cm^2),t为渗透时间(s),L为土柱长度(cm),H为水头(cm)。

2 结果与分析

2.1 不同群落类型下的土壤化学性质

2.2.1 土壤盐度 由表1可知,不同植被群落类型下土壤盐化程度明显不同。表层0~10 cm土壤盐度的排列顺序为羊草<星星草<虎尾草<碱蓬<碱斑,并且各群落类型间土壤EC_e的差异均具有显著($P<0.05$)统计学意义;10~20 cm和20~30 cm剖面土壤盐度由小到大的顺序均为羊草、星星草、虎尾草、碱斑、碱蓬、并且,前四者间EC_e的统计差异均达到显著($P<0.05$)水平,但后两者间EC_e的差异不显著($P>0.05$)。这说明,植被群落分布与土壤盐度密切相关,土壤盐化程度应是决定松嫩平原草原植被群落分布的关键性因素之一。

研究表明,不同群落类型下,土壤剖面(0~30 cm)盐度分布状况存在差异。首先,有植被土壤与无植被土壤间比较,二者剖面盐度变化规律不同。在有植被生长的情况下,土壤剖面EC_e随深度的增加而增加,例如,星星草群落下,当剖面深度由0~10 cm分别增加到10~20 cm和20~30 cm时,EC_e从5.76 dS·m^{-1}分别增加到13.28和17.89 dS·m^{-1}(表1);而在无植被的碱斑地,其0~10 cm、10~20 cm和20~30 cm剖面对应的EC_e分别为

21.77、20.41 和 21.32 dS · m^{-1},即,土壤随剖面深度的逐渐增加,EC_e先降低后升高(表 1)。这些结果说明,植物生长能够影响苏打盐渍土剖面盐度分布。

其次,有植被土壤间比较,土壤剖面(0 ~ 30 cm)盐度分布规律亦不相同。在羊草群落下,0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 剖面土壤盐度分别为 2.64 和 2.88 dS · m^{-1},两者数值十分接近,统计差异不显著(P>0.05),但二者与 20 ~ 30 cm 剖面土壤盐度(EC_e = 4.00)相差较大,统计差异显著(P<0.05);星星草和虎尾草群落下,3 个土层 EC_e数值相差均较大,三者间差异均具有显著统计学意义(P<0.05);碱蓬群落下,10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 剖面土壤盐度分别为 21.46 dS · m^{-1}和 22.34 dS · m^{-1},二者间差异不显著(P>0.05),但二者与 0 ~ 10 cm 剖面土壤盐度(EC_e = 13.35 dS · m^{-1})差异显著(P<0.05)。

2.2.2 土壤碱化程度 由表 1 可见,土壤 ESP 随植被群落的变化而变化。在 0 ~ 10 cm 剖面,土壤 ESP 按羊草、星星草、虎尾草、碱蓬和碱斑的顺序由小到大排列,并且数值间差异均具有显著(P<0.05)统计学意义;10 ~ 20 cm 剖面,ESP 的排列顺序为羊草<虎尾草<星星草<碱蓬<碱斑,并且后两者间土壤 ESP 的差异不显著(P>0.05);20 ~ 30 cm 剖面,ESP 由小到大排列顺序为羊草、虎尾草、星星草、碱斑和碱蓬,ESP 数值间均具有显著(P<0.05)差异。

就土壤剖面 ESP 变化规律而言,有植被土壤与碱斑地土壤的变化规律不同。有植被群落分布时,随剖面深度的逐渐增加,土壤 ESP 不断提高,并且数值间差异显著(P<0.05);无植被生长情况下,ESP 随土壤剖面深度的增加而降低,ESP 在 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 剖面的数值分别为 79.74%、74.66% 和 74.64%,前者与后两者差异显著(P<0.05),而后两者间差异不显著(P>0.05)。

由表 1 可知,土壤 pH 值的变化具有明显的规律性。在 0 ~ 10 cm 剖面,土壤 pH 值的排列顺序为羊草<星星草<虎尾草<碱蓬<碱斑,并且 pH 值间均存在显著(P<0.05)差异;在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 剖面,土壤 pH 值按羊草、虎尾草、星星草、碱蓬和碱斑的顺序依次升高,且数值间差异均达到显著统计学水平(P<0.05);在同一剖面内,土壤 pH 值随剖面深度的增加而增大,但其数值间相差不大。

尽管植被群落类型不同,但 5 个土壤剖面(0 ~ 30 cm)pH 变化规律却相同,即土壤 pH 值均随剖面深度的增加而提高。并且,同一剖面内,各土层的 pH 值相差不大(表 1)。

上述实验结果说明,植被群落分布与土壤碱化程度密切相关,尤其是表层 0 ~ 10 cm 土壤的 ESP 和 pH 值,二者也应是决定松嫩平原草原植被群落分布的关键因素。

2.2 不同群落类型下土壤物理性质

2.2.1 土壤容重 当剖面深度相同时,各群落类型下土壤容重大小关系为羊草<星星草<虎尾草<碱蓬<碱斑(表 2)。在 0 ~ 10 cm 剖面,土壤容重数值间差异均显著(P<0.05);在 10 ~ 20 cm 和 20 ~ 30 cm 剖面,前者、中间两者、后两者,这三者间土壤容重数值差异显著(P<0.05),但中间两者比较时,差异不显著(P>0.05),后两者比较时,差异也不显著(P>0.05)。

2.2.2 土壤结构系数 由表 2 可知,苏打盐渍土土壤结构系数较低。比较而言,羊草群落下的土壤结构系数最高,但其变化范围也仅为 14.36% ~ 19.28%,而其他各群落类型及碱斑裸地下的土壤结构系数均<4.45%。相对而言,有植被土壤的结构系数要大于碱斑地的土壤结构系数。土壤结构系数反映土壤结构稳定性,结构系数越大,土壤结构越稳定,土壤物理性质越好(Oades, 1984;邵明安等, 2006)。供试土壤的结构系数很低(除羊草群落),说明其物理性质较差。

2.2.3 土壤饱和导水率 由表 2 可见,各土层土壤

表 1 不同植被群落下苏打盐渍土 0 ~ 30 cm 剖面土壤化学性质

Table 1 Chemical properties of salt-affected soil profiles of 0–30 cm under different vegetation communities

群落类型	EC_e(dS · m^{-1})			ESP (%)			pH		
	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm	0 ~ 10 cm	10 ~ 20 cm	20 ~ 30 cm
羊草	2.64 a	2.88 a	4.00 a	14.19 a	15.52 a	18.13 a	7.95 a	8.06 a	8.22 a
星星草	5.76 b	13.28 b	17.89 b	33.64 b	56.92 c	60.13 c	9.21 b	9.45 c	9.61 c
虎尾草	8.59 c	15.65 c	19.27 c	41.37 c	46.38 b	51.56 b	9.37 c	9.39 b	9.46 b
碱蓬	13.35 d	21.46 d	22.34 d	68.92 d	74.14 d	76.92 e	9.94 d	10.02 d	10.07 d
碱斑	21.77 e	20.41 d	21.32 d	79.74 e	74.66 d	74.64 d	10.19 e	10.21 e	10.23 e

同一列内,数字后不同字母代表统计差异显著(P< 0.05)。

表2 不同植被群落下苏打盐渍土0~30 cm剖面土壤物理性质

Table 2 Physical properties of salt-affected soil profiles of 0–30 cm under different vegetation communities

群落类型	容重(g·cm^{-3})			结构系数(%)			饱和导水率(mm·d^{-1})		
	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm	0~10 cm	10~20 cm	20~30 cm
羊草	1.33 a	1.38 a	1.32 a	19.28 e	14.36 c	15.23 d	43.16 c	24.93 c	18.08 c
星星草	1.43 b	1.47 b	1.45 b	2.51 d	2.68 b	1.17 a	0.18 ab	0.09 a	0.09 a
虎尾草	1.51 c	1.42 b	1.47 b	4.43 c	1.52 a	3.86 c	0.14 a	0.04 a	0.09 a
碱蓬	1.57 d	1.64 c	1.66 c	1.12 b	2.34 b	2.21 b	0.22 b	0.15 b	0.17 b
碱斑	1.67 e	1.66 c	1.67 c	0.74 a	1.48 a	1.03 a	0.11 a	0.08 a	0.09 a

同一列数字后不同字母代表统计差异显著($P<0.05$)。

饱和导水率(K_{10})变化介于0.04~43.16 mm·d^{-1},属低透水强度范围内。相对而言,羊草群落下的土壤透水能力较强,其变化范围为18.08 mm·d^{-1} ≤ K_{10} ≤ 43.16 mm·d^{-1},而其他各群落类型下的土壤导水性能极差,饱和导水率变化范围仅为0.04 mm·d^{-1} ≤ K_{10} ≤ 0.22 mm·d^{-1}。饱和导水率主要反映土壤饱和渗透性能,对于一定的土壤而言,其饱和导水率是个常数。供试土样的饱和导水率较小,说明苏打盐渍土基质对水流的阻碍作用很强,土壤通透性很差。

3 讨 论

不同种类植物的耐盐碱能力存在差异,因此,植被群落分布必然随着土壤盐渍化程度的变化而变化。有研究表明,羊草、星星草、虎尾草、碱蓬耐盐碱能力依次增强(张崇邦等,1995)。但是,本研究中,表层0~10 cm土壤的EC_e、ESP和pH均是按这一顺序逐渐升高。这表明,松嫩平原0~10 cm土壤盐渍化程度与植被群落分布密切相关。而且,由表2可见,碱蓬地与碱斑地0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm剖面土壤EC_e的数值分别为13.55、21.46、22.34和21.77、20.41、21.32 dS·m^{-1},统计分析表明,前者与后五者间差异显著($P<0.05$),而后五者间差异不显著($P>0.05$)。这说明,只要表层(0~10 cm)土壤盐度小于碱蓬的忍耐极限,地表就可以形成碱蓬群落,即使表层以下土壤盐度超过碱蓬的忍耐阈值,但是,当表层(0~10 cm)土壤盐度超过一定阈值后,任何植物都难以生长,土壤成为碱斑地(李建东和郑慧莹,1997)。这可能是于种子的萌发、根系的生长主要集中在表层土壤有关。因此,表层0~10 cm土壤的盐渍化程度是决定松嫩平原植被群落分布的关键因素。

土壤物理性质也是植物生长发育的影响因素之一。按羊草、星星草、虎尾草、碱蓬和碱斑排列,土壤容重逐渐升高(表2)。而对结构系数和饱和导水率两项土壤物理参数而言,除羊草地相关数据值最高外,星星草、虎尾草、碱蓬土壤的数据值与植被类型间无明显的规律性,但总体而言高于碱斑裸地的数据值。这表明容重是影响植被群落分布的首要土壤物理性质,结构系数及饱和导水率对植被类型的分布也具有一定的影响作用。

盐渍土理化学性质决定植被群落分布状况,反之,植被群落分布情况则可以反映土壤盐渍化程度与物理性质。国际上通常将EC_e=4 dS·m^{-1}作为判断土壤发生盐害的阈值(USDA,1954; Gupta & Abrol,1990; Chhabra,2005),而盐土则分为轻度、中度和重度3个等级,其对应的EC_e范围分别为4~8、8~16和>16 dS·m^{-1}(USDA,1954);在土壤未发生盐害的情况下(EC_e ≤4 dS·m^{-1}),ESP>30%、pH>9.0的土壤被称为碱土(王遵亲等,1993);EC_e ≥4 dS·m^{-1}、ESP>30%、pH>9.0的土壤则被称作碱化盐土。根据这一标准,羊草群落下土壤类型为非盐渍土,其他群落类型下的土壤均为碱化盐土(表1),其中,星星草和虎尾草群落下的土壤为轻度碱化盐土,碱蓬地和碱斑地土壤则分别为中度和重度碱化盐土。因此,松嫩平原草原植被群落分布情况可以定性反映苏打盐渍土的盐渍化程度。另外,总体而言,羊草、星星草、虎尾草、碱蓬4中植被下土壤的容重、结构系数和饱和导水率均高于碱斑裸地,而且土壤容重按上述植被类型排列逐渐升高。因此,松嫩平原草原植被群落分布情况可以定性反映苏打盐渍土的物理性质。

土壤和植物之间是一种相互作用的关系。因此,在盐渍土理化性质决定植被群落分布的同时,植物生长也对盐渍土的理化性质产生影响。由实验结果分析已知,有植被群落分布时,苏打盐渍土EC_e和ESP均随土壤剖面深度的增加而升高,而无植被生长的碱斑地,其变化规律恰好相反。这是因为,在植被生长条件下,一方面,地表盖度的增加降低了表层土壤的蒸发强度,进而减弱了盐分在地表的积累

(李建东和郑慧莹,1995),另一方面,植物根系生长可以改善土壤物理性质,增强土壤导水性能,从而促进盐分淋洗(Ilyas *et al*.,1997; Qadir & Schubert, 2002; Qadir *et al*.,2007),因此,表层土壤的盐渍化程度相对较低。而碱斑地由于地表蒸发强烈,引起盐分在表层聚集,从而导致表层土壤盐渍化程度相对较高。另外,星星草、虎尾草、碱蓬下土壤容重逐渐升高,但0~10 cm土壤的结构系数排列顺序为虎尾草>星星草>碱蓬,而土壤饱和导水率的排列顺序为碱蓬>星星草>虎尾草,这可能是由于植物根系的生长导致的(Qadir & Schubert,2002; Qadir *et al*., 2007)。

总之,松嫩平原苏打盐渍土理化性质决定了植被类型的分布特征,同时,植物的生长也影响了土壤的理化性质。

参考文献

迟春明, 王志春. 2009. 松嫩平原盐碱土饱和浸提液与土水比1∶5浸提液间化学参数的换算关系. 生态学杂志, **28**(1): 172-176.

邓 伟, 裘善文, 梁正伟. 2006. 中国大安碱地生态试验站区域生态环境背景. 北京: 科学出版社.

李 彬, 王志春, 梁正伟, 等. 2007. 吉林省大安市苏打碱土盐化与碱化的关系. 干旱地区农业研究, **25**(2): 151-155.

李建东, 郑慧莹. 1995. 松嫩平原碱化草地的生态恢复及其优化模式. 东北师范大学学报(自然科学版), (3): 67-71.

李建东, 郑慧莹. 1997. 松嫩平原盐碱化草地治理及其生物生态机理. 北京: 科学出版社

刘光崧. 1996. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社.

刘兴土, 何 岩, 邓 伟. 2002. 东北区域农业综合发展研究. 北京: 科学出版社.

邵明安, 王全九, 黄明斌. 2006. 土壤物理学. 北京: 高等教育出版社.

王遵亲. 1993. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社.

俞仁培, 陈德明. 1999. 我国盐渍土资源及其开发利用. 土壤通报, **30**(4): 15-16.

张崇邦, 孙丽玲, 李国清. 1995. 东北羊草草原耐盐碱植物的研究. 生物学杂志, **68**(6): 19-20.

Chhabra R. 2005. Classification of salt-affected soils. *Arid Land Research and Management*, **19**: 61-79.

Gupta RK, Abrol IP. 1990. Reclamation and management of alkali soils. *Indian Journal of Agricultural Science*, **60**: 1-16.

Ilyas M, Qureshi RH, Qadir MA. 1997. Chemical changes in a saline-sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Technology*, **10**: 247-260.

Oades JM. 1984. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, **76**: 319-337.

Qadir M, Oster JD, Schubert S, *et al*. 2007. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in Agronomy*, **96**: 197-247.

Qadir M, Schubert S. 2002. Degradation processes and nutrient constraints in sodic soils. *Land Degradation & Development*, **13**: 275-294.

USDA. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S. Department of Agriculture Handbook 60. Washington DC: U.S. Government Printing Office.

作者简介 迟春明,男,1978年,副教授,主要从事盐渍土生态研究。E-mail: chichunming@126.com

责任编辑 王 伟